氣候智能型農業生產—從環境親和調適評估機會與挑戰

楊純明*
行政院農業委員會農業試驗所所長室/作物組

摘要

所謂「氣候智能(慧)型農業(Climate-smart Agriculture; CSA)」乃近年來形成並被大力推廣之農業生產系統，期望能在維護糧食安全、因應氣候變遷及永續天然資源利用與生產利潤上達到理想的『三贏(triple win)』境界。本文將簡介 CSA 的意涵，並藉由環境親和的調適來說明 CSA 的內容與重點，期以有助於國內在推動 CSA 之前進行適當的評估，充分的分析其社經重要性、市場機會與執行挑戰。對於資源有限、環境趨於惡化又災害頻繁的臺灣而言，假若農業生產依然是全民共同的選項，糧食安全維護是國家最高的發展政策，氣候變遷因應列為政府行動綱領，則在各方共識之下我國確實可以嘗試推動 CSA 生產系統。但是，CSA 的規劃需要周詳慎密的考量，以國家整體利益及未來經建發展為上位的指導方針。至於如何研擬出適合我國的 CSA 體系，並規劃出達成目標的特定行動路線圖，則端賴大家有志一同的努力、毅力與魄力！

關鍵詞：氣候智能(慧)型農業、農作生產、環境調適、氣候變遷、糧食安全。

Climate-smart Agricultural Production: Opportunity and Challenge Based on the Assessment of Environmental Adaptations

Chwen-Ming Yang*
Office of Director General/Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung 41362, Taiwan

ABSTRACT

‘Climate-smart Agriculture (CSA)’ is a newly evolved production system for agriculture that to secure food security and sustainable use of natural resources and production profits under a changing climate scenario, as well as lead to a ‘triple win’ agricultural development. This paper will introduce the implications of CSA and advocate the importance and implementation of this production system through adaptation approach with emphasis on environmental friendly aspects. Nevertheless, a fully assessment and evaluation of its socio-economic significance, market opportunities and challenges during its implementation is necessary. Indeed, the practice of CSA in Taiwan is an option and may become practical when the stakeholders of the local community and government realize the situations of limiting resources, deteriorating environment and frequently occurring disasters that this island country is facing. Planning of CSA policies and practices requires strategic consideration and follows the guidelines of national benefits and development. However, more efforts to plan site-specific CSA framework and ensure a successful roadmap for action are needed. The only thing left is that do we really want to have CSA, and a discussion of what, when and how.

Key words: Climate-smart agriculture, Crops production, Environmental adaptation, Climate change, Food security.

前言

依照現行狀況發展統計，全世界人口預計至 2050 年將增加 1/3，即由目前近 70 億

---

* 通信作者, cmyang@tari.gov.tw
初稿日期：2013 年 8 月 25 日
刊登日期：2013 年 9 月 25 日
作物、環境與生物資訊 10:217-228 (2013)
Crop, Environment & Bioinformatics 10:217-228 (2013)
189 Chung-Cheng Rd., Wufeng, Taichung 41362, Taiwan ROC

增長至 90 億，而這些新增的 20 億人口多數分佈於開發中國家。又由於普遍都市化的趨勢，未來多數人口將移居至都市，預料將衍生許多環境污染與生態破壞問題。然而，如果人均收入及消費成長持續進展，根據聯合國糧農組織(Food and Agriculture Organization; FAO)估計至 2050 年前全球農業生產至少需要額外增加 70%，才能夠滿足世界糧食及飼料的預期需求(Bruinsma 2009)。因此，農業勢必要力求轉型、農產科技亦需要不斷改進，才能有機會供給全球增長的人口所需糧食，並為支撐經濟成長及降低貧窮的堅固盤石(The World Bank 2008)。惟當前氣候的快速變遷情境將使得吾人肩擔任務變得十分艱巨，因為倘若現階段的產業經濟狀態發展未有重大改變，加上再無決心採取非常手段及大筆經費投入來因應各式各樣的逆境，則恐難處理這些接踵而來全球議題帶來對農業的種種衝擊。

廣義的農業生產包涵農、林、漁、牧(畜)諸類產品之生產、加工及行銷等整體流程，皆相關於國家之糧食安全與經濟發展，而這些被統稱為「農產品」者，其實包括了出自於動、植物的食物(如穀物、蔬菜、水果、漁穫及肉類等)、纖維質(如棉、麻、羊毛、蠶絲等)、能源(如生質源、木炭、牛羊糞便等)及其他生物性原料(如藥材、建材、樹脂等)等許多種類在內(FAO 2010)。世界各國因為開發程度、國情及環境、資源等條件，其農業生產可能分別來自於不同的生產系統，由從事農、林、畜生產的個別小農、專業生產的中型規模農場直至高量密集生產的大規模獨占式農林畜企業等。對於正在開發中的國家而言，需要可永續密集生產的農林畜生產系統，並減少或避免森林砍伐及侵佔天然生態系，以兼顧糧食安全及減緩氣候的快速變遷(Burney *et al.* 2010, Bellassen 2010)。而對於已開發國家，除了強化農業生產系統對氣候變遷的調適(adaptation)與恢復彈性(resilience)能力，亦需要致力於增進對於氣候變遷的緩解(mitigation)能量，降低對天然資源與能源的消耗，將技術、資訊與資源大方分享予開發中地區的人民。如此同心一意的攜手努力，才能真正釐清糾結纏繞的相關複雜議題，同時發揮最大的力量解決地球村面臨的共通問題。

為期達成農業發展及糧食安全的雙重目標，針對氣候變遷的調適及降低溫室氣體排放對氣候變遷的緩解等措施與作法，必須相互整合、搭配，而且需在不過度消耗天然資源的前提下實行。因為，一個能夠持續高生產力及恢復彈性的農業生產系統，必須在(1)土壤與營養管理(soil and nutrient management)、(2)水分收集與利用(water harvesting and use)、(3)病蟲管控(pest and disease control)、(4)生態系恢復彈性(resilient ecosystems) (5)遺傳資源(genetic resources)及(6)採收、加工與產品供應鏈(harvesting, processing and supply chains)等方面擁有完善的規劃，甚至於進行管理上澈底的大轉變(型)，方可在包括氣候變遷在內的各種情境衝擊下，還能夠確保這些農業資源與對應措施被更有效率的應用(FAO 2009, 2010)。而且，這樣的轉變(型)必須從地方政府直至國家層級，無論是政策、立法及財經機制皆需給予架構式(institutional)的建立、執行與管理。如此，也使得生產者可以直接進入行銷環節，瞭解市場需求、消費者意向而至於回饋於自身生產系統的改變與改進，減少透過層層管道與限制，進而可以有效率的進行必要的生產措施調整與生產量調節。另方面，由於生產者真正理解永續生產環境的重要性，其在糧食安全與氣候變遷之全球議題上所扮演的角色，以及其可發揮的重大功能，因而全面配合、支持從地方至國家執行的各種政策及方案。

事實上，前述的六個方面的考量因素亦為氣候智能(慧)型農業(Climate-smart Agriculture; CSA)的六項組成分，本文將予轉介讀者，並特別就「環境親和的調適」予以闡述。本文所指「氣候智能型農業 CSA」乃近年來由聯合國 FAO、世界銀行(World Bank)、多個國際非政府組織(Non-Governmental Organization; NGO)(如 Consultative Group on International Agricultural Research; CGIAR)和其他重視生態環境議題的國家(如荷蘭、丹麥等)、專家學者等極力推廣之農業生產系統，期望能在維護糧食安全、因應氣候變遷及永續天然資源利用與產出利潤上達到理想的『三贏(triple win)』境界。本文將試以讓讀者初窺 CSA 的意涵，明白藉由環境親和的作法來調適氣候變遷的重點，以有助於 CSA 在國內的推動。另一方面則希望經此說明而助益於國內相關部門周延詳善的評估，不僅對於 CSA 在社經上的貢獻與重要性，也從市場機會及執行上挑戰綜合評價實施的需要與必要。

氣候智能型農業(作)

綜而言之，CSA 係一個融合維護糧食安全、因應氣候變遷及永續天然資源利用與產出利潤三大理念於一體，並進而勾勒出路線藍圖/行動地圖(roadmap)以達成此一理想目標的農/林/漁業生產系統(豢養牲畜不在其內)。當對象專注於農作物的生產時，則可稱之為「氣候智能型農作」以突顯偏重於農作物的耕作與作物生產。簡單的說，以較少資材投入獲取較大利益產出之永續農業操作模式，即為氣候智能型農業之根本意義與原則。在此操作模式下，農業(作)面積不再擴張，天然生態系統之功能不受壓迫，天然資源未再減縮而得以永續使用，卻仍然可以維持並滿足人們生活所需之營養食物、飼料、纖維及其他產品等的供給。但是，這樣生產系統依然可以生產合適價格的農產品，讓一般民眾得以負擔卻又能讓生產者得應有利潤。而推動此一生產系統的主事者，必須隨時提供農民及生產者取得現代化的知識與技術，並將之納入政策與公私部門資源的分享圈內，互為共榮共享的一環。

雖然國際間推動 CSA 操作的時間甚短，經驗與實際案例尚未臻成熟，全球有志者卻十分積極推廣，也建置一個網頁(http://www.climatesmartagriculture.org/72614/en/)，希望透過無遠弗屆的網際網路來推廣至世界各角落，復讓所有執行 CSA 生產系統者透過此一管道來分享實施結果、交換資訊及交流成功與失敗經驗，以共同尋找出適合區域性差異的不同農作、林業與漁業等生產系統，達到有效解決氣候變遷負面作用之目的。本文將以農業(作)為主要訴求，且加以延廣說明。

眾所周知，農業具有『生產、生活與生態』三大功能，更是當前能夠兼顧調適與緩解氣候變遷的唯一產業。因此，在致力於農業生產以維護糧食安全的同時，亦當加強緩解氣候變遷、保育天然資源及持續重要生態系統服務等多元功能，非但需要改變農業生產系統使成為更高生產力、更有效率力使用投入資材、較低產出變異幅度及較大產出穩定度等之外，也應當同步強化對於風險、衝擊及長程氣候變化具有較高的耐受能力(tolerant ability)與恢復彈性(resilient capability)。值得在農作上強調的是，氣候變遷的緩解策略主要在於降低單位農地面積或單位農作生產之溫室氣體排放(greenhouse gases emission)，增加碳封存/積儲(carbon sequestration)容量，以及提供生質能源替代化石能源，如此對於氣候的快速變遷作出顯著的緩解貢獻。

氣候變遷之負面作用

撇開氣候變遷的一些正向效應，快速的氣候變遷帶來升高的地表氣溫、失序的降水(雨)型態、增加頻率與增強程度的極端天氣事件、上升的海平面等的明顯物理性證據(IPCC 2007)，嚴重威脅農業生產力。對於世界上許多農業生產力低下且欠缺可提供應對不利事件處理工具的國家及地區，氣候的快速變遷將會雪上加霜的更加降低生產力，造成更不穩定的農業生產(Fischer *et al*. 2002, Stern 2006, Cline 2007, IPCC 2007)。再者，氣候變遷所引起氣溫及降水型態的長期紊亂，將可預期會改變生長季節和病蟲害的發生型態，異動作物的生產時序而導致食物種類與價格的波動、農產收益的不可預料，終究影響民眾的平穩生活及生物循環的更迭。

在主要仰賴天然環境與資源的農作、林業及漁業，極容易遭受到氣候變遷引起的諸種負面作用威脅，例如水患與乾旱發生頻率的增加、溫度的上升、病蟲草發生型態的改變、有機碳匯脆弱度的升高等現象，於是直接或間接的影響吾人對天然與人為資源(如水文、森林、濕地、水生等生態系及珊瑚礁、旱地、水田、水產養殖等)的經營管理，進而鏈結至對糧食、飼料、纖維及其他農產原物料供應的不利影響。然而這些逆境及衍生負面作用，存在顯著的區域差異性，因此規劃的因應對策需要依照地區特性(site-specific or location-specific)建構合適的作法。

適用於調適氣候變遷之科技

都市化的發展及環境的劣化，使得可供耕作的農地愈來愈少，又加上天氣、水患及其他不可預測的災害事件等，導致滿足增長人口的糧食供給更具挑戰性。如何善用現行適用及新興科技，恰如其分的調適氣候的快速變遷，乃為解決問題的關鍵之鑰。聯合國環境規劃署(United Nations Environment Programme; UNEP)的一份指南整理了 22 個科技選項可供農業部門利用於氣候變遷的調適(Clements *et al.* 2011)，分別針對決策者(policymakers)、發展規畫者(development planners)、農業專家(agriculture experts)及其他利害相關者提供了不同思量方向與選擇基礎，並將這些科技歸納為七大類別: (1)應用於氣候變遷與變異幅度之規劃類；(2)永續水分利用與管理類；(3)土壤管理類；(4)作物永續管理類；(5)牲畜永續管理類；(6)農耕永續系統；以及(7)能力建立與相關利害者之組織等。

該份指南亦對決策者提供了決策過程應當注意的多方參與、順勢促成及共識建立等三大忠告，以及增加共同意識與知識、加強組織架構、保護天然資源、提供財務支援及發展關聯性特定策略等五項關鍵的指導原則(Clements *et al*. 2011)。對於適用於因應氣候變遷的調適科技，做出了下列優先次序：

(1) 發展能夠增進強化對環境永續之生物多樣性的科技；
(2) 發展能夠加強有利於取得氣候變遷資訊的科技；
(3) 發展能夠有效利用水分、增加碳封存、促進土壤營養循環及提高生產力的科技；
(4) 發展能夠提升收益潛能、進行成本效益分析及改善公平性的科技；
(5) 發展能夠促進多元文化及有利於文化交流的科技；
(6) 發展能夠整合成國家層級和區域層級政策及擴大實施規模的科技；及
(7) 發展能夠建立正式和非正式制度及社會網絡的科技。

而對於實際從事農業生產和決策者，該指南則提出了以下 6 點建議: (1)氣候模式及氣候預測之準確性應予持續改進，以利於執

行較適切的調適策略；(2)有關動、植物及病、蟲原對於氣候變遷的反應資訊應當積極整理分析，以掌握其等之行為表現；(3)在不同氣候變遷情境下社會與經濟體系未來的潛在改變必須充分調查與分析，如此調適策略造成的影響及規劃選擇可獲得清楚的瞭解；(4)透過妥適的資訊傳播管道，以確保有效的資訊流通；(5)深入分析調適科技，以建構農業部門的調適與恢復能力；及(6)應當建立決策者、研究人員和社會之間的溝通關係，以共同發展調適科技與規劃流程。

氣候智能型農業之興起

承接前述，由於不等經濟發展程度、環境與資源，加上地理位置及座落不同氣候區，氣候變遷將對不同國家及地區形成不同的差異影響。過去數十年間，國際間對於農業遭受氣候變遷的影響及農業對氣候變遷產生的效應多所忽略，偏重於工商產業的損害因應。然而，隨著糧食安全議題的逐漸受到世界各國普遍的重視，環保意識的覺醒，世人終於轉向關注於滿足地區性糧食需求的農業生產。尤其較脆弱地區及因應氣候變遷能力相對較差的弱勢國家，殊有迫切需求予提供適切的援助與協助，以緩和其糧食減產及人口增長壓力。農業成長在這些國家及地區係減輕貧窮、經濟發展及環境永續的根本之途，糧食必須不斷增產來餵養這些弱勢國家及地區的人民，使免於遭受饑荒威脅及氣候變遷帶來的大風險。

其次，生產調適的投入(資)，必須涵蓋乾旱、高溫、水患、高鹽分等逆境之耐抗新品種、新栽培技術及新農耕系統，乃至於擴大從流水域(watershed)、地景(landscape)較高層次的規劃考量，也需要相關政策與經費的大力協助、配合，從地方、國家、區域直至國際一脈相連。另一方面，國際間亦注意到農業生產體系的受災緩衝彈性及災後恢復能力，無論係已開發或開發中國家皆須建立，以使農業避免遭到毀滅性大災難，尤其是弱勢國家及地區。

由此情境，歸納出了現階段三大永續發展與糧食安全的重要議題:「糧食不安全性(food insecurity)」、「氣候變遷(climate change)」及「生態系崩解(degradation of ecosystems)」，據此也興起連結農業相關投資、政策與方案轉型至氣候智能型的農業發展方向。在氣候變遷的趨勢之下，必須要有非常的手段，包括新的作法、進步的永續方法及更高耐抗逆境的作物品種(系)等，才能夠滿足目前生產與消費水準，而欲因應未來更嚴峻的糧食需求則難度將更高了。實際上此一 CSA 發展方向非一蹴可及，牽涉關於農業、土地利用、森林及水資源管理等相關問(議)題，重要的工作亦甚繁複，從如何持續增進生產力、降低溫室氣體排放、增加二氧化碳封存、強化環境永續力直至提供民眾更好的生活(better livelihoods)及維護糧食安全。而且經驗告訴我們，驗證可行的 CSA 生產系統需要包容現行及進步的科技與作法，在科學的背景與基礎上充分瞭解氣候變遷的衝擊及農作物的自我調節反應。

傳統農業型態轉型為氣候智能型農業

農業、林業、畜牧業及土地利用等併為影響環境變化與氣候變遷的主要因素之一，因為其等皆為溫室氣體排放的明顯排放源。如何提高農業生產而減少溫室氣體排放，確實為我輩一項重大挑戰。其解決關鍵在於如何以永續性方式善用天然資源，而非將之消耗殆盡，同時又能克服人口增長及都市擴增對於土地、水源與能源的競爭壓力，以及來自於農業、林業的類似競爭需求。

追根究底，農業本身即需要進行一項最根本的轉型，無法再依照傳統/現狀操作或執

意於現行生產流程，而必須改施行低溫室氣體排放的作業程序。換言之，農業必須從事一項綜合許多措施與作法的跨層面、跨產業、根本性的轉型，所有相關層面必須全面的、整體的配合改變。至於如何達到所謂糧食安全、氣候變遷及農業永續三贏的 CSA，建構適合當地特性的、綠色永續的 CSA 生產系統，則必須分從科學、技術、教育與推廣等面向同步進行結構式的轉型配合。農業生產系統必須轉型為高生產力與高生產量、低產出變異及屬於生態效能型的操作模式，並克服農業生態、社會經濟與氣候變遷等種種的風險。

處於相對弱勢的開發中國家及地區，家庭式和小農式的農作(耕)系統扮演重要角色，一如有機農業的運作，皆係農業綠色生長及 CSA 生產系統的重要一環。這些婦女、兒童、小農、原住民及其他仰賴天然資源生活的『基本』農業生產者，通常饑餓風險高而生活貧困，卻都是傳統農業型態轉型為 CSA 的重要而不可或缺的一群農業操作者，應當受到更多的眷顧及資源提供。其次，農民團體、農民組織及農企業亦當積極參與其中，作為農民、產業與政府之間對話的媒介，多元資訊與技術推廣服務的提供者或中介者。所以，應當併如農民，協助其等取得財務與經費上的資(援)助，以加速農作(耕)生產技術升級、扶持農(鄉)村建設、建立農業新面貌。其實農民本身即是最務實的農事操作者，當農民感受到氣候的異常與變化時，即會本著個人經驗自行採用可行的調適方法。政府農政和研發部門可依循管道來提供相關的資訊與技術，輔以合適解決措施、方案及政策等的搭配，使農民及農企業得視個別條件及需求採用而達到轉型目的。

氣候智能型農業之推動

欲快速的將研究結果落實於實際農事操作之中，最根本與務實的做法係將研究、教育與推廣服務等三者結合，傳播予農民使將傳統(在地)農耕知識與現代化科技相串連，以充分實踐最新的科技新知於實際的生產系統之中。時勢與潮流所趨，近年來農業已被廣泛提升至國家甚至國際的政策層級，我們應當持續推動此一發展動態，以因應吾人所面臨的各種挑戰。解決這些全球性的挑戰，必須要結合各種專業能量、跨國合作及完整而充足的科技、財經與結構式的創新做法，才能真正達到在糧食安全、氣候變遷及生態環境上的三贏；簡淺明白的說，就是調適以持續增進生產力、緩解以降低溫室氣體排放與增加二氧化碳封存、以及強化環境資源於永續生產，確保可持續與可維護的糧食安全。因此，本文亦呼籲跨專業、跨產業與跨國界的交流合作，無私的分享經驗、知識與技術，一齊共同善用科技發展的果實來永續農業生產、提升人類生活及改善生態環境。以下，本文再列舉透過國際性會議進行交流合作，致力於推動 CSA 的二個案例。

首先，有鑑於氣候變遷存在對於農業生產的長期而深遠的影響，加上有識之士及若干國際農業組織/機構的遠見與推動，聯合國 FAO 和荷蘭政府乃共同具名於 2010 年 10 月 31 日至 11 月 5 日在荷蘭海牙市發起召開 “The Hague Conference on Agriculture, Food Security and Climate Change”。該次會議首次將 CSA 定義為可資貢獻於達成永續發展目標之農業操作系統，針對全球所面臨的糧食安全與氣候變遷二大議題，綜合來促進經濟、社會及環境三大面向(dimensions)的永續發展，而其內涵儘可能包括: (1)永續增加農業生產力與農產收益、(2)調適與建立氣候變遷恢復彈性(能力)、及(3)降低或排除溫室氣體排放等三大重點措施(main pillars)。

此會議擬訂了具有廣泛性、永續性及高效資源利用原則的行動路線圖(roadmap for action): 第一步，係鑑定並啟動具體而持續

不斷的行動方案以連結農業投資、政策與措施，將現行農業操作轉型至低溫室氣體排放、具氣候恢復彈性的綠色生長方向及生活型態，再繼續進展至 CSA 的農業生產模式；第二步，這些行動方案又屬於另一個可驗證而具促進功能的廣泛行動方案的一部分，也可據以同步啟動多個相關行動方案，並且將相關的私人企業、非政府組織、民間社團、農民、科學家及政府部門等廣泛納入，以攜手合作並推動各方案的執行；第三步，前述這些方案、相關倡議及經費投入等皆必須致力於其有效性、效能、透明度及相互關聯與合作，而且所有資訊必須公開分享予全體利害相關者(stakeholders)，使這些行動方案成為活的、滾動的、有效的路線圖架構之一部分(FAO 2010)。

此一系列國際性會議之第二回合"the 2nd Global Conference on Agriculture, Food Security and Climate Change: Hunger for Action"係於 2012 年 9 月 3-7 日假越南河內市召開，係由聯合國 FAO、世界銀行、荷蘭經濟事務、農業暨創新部(Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation of the Netherlands)和越南農業暨鄉村發展部(Ministry of Agriculture and Rural Development of Viet Nam)共同籌辦。在此一會議中，進一步確認 CSA 為能夠持續的增加生產力與恢復力(調適功能)、降低溫室氣體排放(緩解功能)及促進國家糧食安全與糧食發展目標達成之農業生產系統。

該研討會亦汲取第一次研討會後相關於 CSA 發展之經驗與成果，並嘗試建立更具體、更優先的行動方案，也鼓勵採行 CSA 早期行動以有效推動綠色生長。其次，該次會議亦順利完成: (1)討論出有效策略與措施來擴大實施 CSA，使成為永續發展與綠色生長(green growth)之推手，並一致做出分享資訊、經驗與有效措施予公私機構、民間組織及相關利害關係者之決議；(2)全體一致努力將 CSA 納入更廣闊之國家發展目標；(3)闡述發展 CSA 之有利與限制因素，並特別關注改進扶持環境的優先次序及促進民間組織依照價值鏈全方位投資於農業與鄉村發展的先後步驟；(4)共同以地表景觀作法來推動 CSA，加強農業與林業的連結；(5)善用自 2010 年 11 月以來有關執行 CSA 所累積之經驗(MARD 2012)。

環境親和的調適

一如本文上述，氣候智能型農業 CSA 的六項組成分即為實施 CSA 生產系統之六大方面考量。而從糧食生產系統上分析，這些亦是維持永續糧食生產的主要元素，以及環境親和的調適主軸。當這些攸關於糧食生產的主要元素獲得改進，環境親和的調適主軸給予正確的定位後，現行的農業(作)生產系統就能順利轉型至 CSA 生產系統。於是，在完善的規劃、管理與執行下，糧食生產系統的效率、調適能力、緩解潛力及恢復力等將可大幅提升，進而得以在包括氣候變遷的各種情境衝擊下持續農業資源的利用與生產利潤(FAO 2010, MARD 2012)。

土壤與營養管理

在天然環境的露地栽培制度，土壤中可供作物吸收利用之氮素及其他營養元素的多寡，將成為決定作物生產潛力之主要因子一。吾人可經由施用有機糞肥、掩埋植株殘留植體、精準施用植物所需養分及增進土壤固氮微生物活力等方式，來增加有用的土壤營養元素、改善土壤理化性質，進階綜合提升土壤地(肥)力。相對於施用人工合成化學肥料，此一作法又可保存土壤活力及減少溫室氣體排放，並減輕弱勢小農的資材成本負擔。

許多作物生產系統在長期農作使用下逐

漸消耗土壤地力，演變成低土壤營養元素含量狀態。一些傳統上採行的措施，即能有效的解決此情形，例如可藉由間作或輪作豆科綠肥植物，或是農林混植系統。其做法係將前作豆科植體(如花生、綠肥植物)混犂入土壤中，後作(如玉米、水稻)即可顯著增產。即使前作的產量不高，後作物仍可經由吸收利用前作釋放至土壤中的氮素及其他營養元素而得利與增產，並因此彌補前作之低收益。若改將後作植體作為畜牧之飼料使用，另可轉換植體生質量成為動物生質量，且減少土壤甲烷或氧化亞氮的排放。而豆科收穫物係優良蛋白質的來源，豆類製品可供人類食用(FAO 2009)

水分收集與使用

水分為農作生產之基本要件之一，而水分灌溉則是維持穩定農作收穫之重要手段。改良水分收集與保存(如水池、水庫、水坑、水脊等)及水分利用效率(灌溉系統)係增產之根本，亦為異常降水型態下之重要因應項目。目前全球開發中國家約有 20%農地採行人工灌溉，卻因此相對於雨灌農耕增產130%，故擴大有效的水分管理技術與方法，對於小農有非常大的幫助。這些在資源貧瘠的弱勢開發中國家及地區推動的技術改良措施，一些簡單的作法常有意想不到的正面結果，其原則亦可延用至其他類似景況。

以非洲布吉納法索西北部雅滕加省(Yatenga province)的水坑為例，當地農民常以挖掘栽植水坑(稱‘zaï’)方式來恢復衰退農地的使用，經過教導將原來水坑加深加寬，再添加有機質，則水坑內種植之農作物可顯著增加產量(Reij *et al.* 2009)。此種改良水坑可將水分與養分集中，且利於水分的滲透及保存，使得原本荒廢農地可重新供作農耕使用。另外，在當地以土石塊圍圈收集降雨，或形成水路供作灌溉，也因為水分往下滲透而提高土壤含水量而得以耕作，尚且又有減少土壤及有機質流失等功能(Reij *et al.* 2009)。在農耕較先進的已開發國家，則發現以低度耕犂或不耕犂的方式栽植農作物，或混入適量的前作植體殘留物，可以獲得減少土壤水分及營養成分流失的效果，同時增加有機物質、改善土壤理化性質。

病蟲控管

證據顯示氣候變遷將改變病、蟲源的發生、分布與強度，也影響入侵及外來物種數量，因此造成現有栽培作物品種失去原有病、蟲之抗性，導致作物生產危害而減產。在一項關於影響英國都市地區林木健康之文獻回顧(Tubby and Webber 2010)，總結發現氣候變遷將影響寄主林木生理機制而改變病原及植食性昆蟲的干擾模式，氣溫與水分也直接影響這些病、蟲原之存活及發育，以及其等天敵、媒介生物及競爭者之間的關係。而這些的衝擊將因此改變在地病、蟲原之間的消長、發生與流行，甚至造成病、蟲原之異地遷移，而至於影響區域間之病蟲動態平衡及不可預期的病蟲害。從廣泛的生物性逆境角度，應當再加上雜草及病毒的危害，因為在一份綜合大麥、棉花籽、玉米、油菜籽、馬鈴薯、水稻、大豆、甜菜、番茄與小麥等多項農產品的統計資料顯示，雜草、昆蟲、病原及病毒乃主要的微生物危害種類，前三項分別可造成平均 34、18 及 16%的產量損失(Oerke 2006, Tubby and Webber 2010)。

這些由有害微生物造成的農作物產量損失，可以人為保護、防治與管理措失降低或避免。其中，雜草可藉由機械性或化學性方法予以控制，因此其控管效果高於病、蟲，後兩者多依賴合成化學藥劑的防治。然而，很不幸的，由於區域性的管控差異，在農藥被大量使用的過去 40 年期間，病、蟲害仍然造成相當程度農作的減產。從健康安全農產

品及生態環境的考量，近年來發展的病蟲害/作物綜合管理(integrated pest/crop management)觀念，改以設定臨界值作為噴施農藥的判定標準。此一臨界值通常以兼顧經濟與環境可接受度設下標準，視區域性差異，調整該可被接受的臨界值。然而，在很多情況仍因為經濟考量大於環境因素，此一希望能兼顧經濟與環境的病蟲害/作物綜合管理未被真正落實(Oerke 2006)。

生態系統恢復彈性(與生物多樣性)

改進生態系統的管理與生物多樣性，將可提供多元的生態系服務，進而提升農耕系統的生產力、恢復力及永續性，又因此降低或減少溫室體排放。這些生態系服務項目如病蟲害管理、微氣象調節、廢棄物分解、營養原素循環及作物的授粉作用，而藉由採行各種天然資源管理與生產措施，將可增進生態系服務能力。

遺傳資源

生物的遺傳組成決定了其耐受短期衝擊的能力(如極端高溫、乾旱、水患、病害及蟲害等)，同時也調節其生育期與生產循環長短，以及對於肥料、水分、投入資材等的反應。因此，作物遺傳資源及其野生親本的保存，乃選育作物對於特定逆境具有高耐抗能力與恢復力的基礎，也是提升資源使用效率、調節生產期、增加產量與品質的根本。通常針對特定逆境的新品種選育，係量身打造地區特性合適品種最重要與最適切的做法。

收獲、加工與產品供應鏈

高效的收獲和早期收穫後處理係減少採後損失(post-harvest losses; PHL)及維護收穫數量、品質與營養價值最重要的原則。此外，亦可確保聯產品及副產品最佳的利用，無論使用於飼養牲畜、生產再生能源或增進土壤地力。隨著供應鏈的拉長及複雜性，採後處理、包裝、儲存、運送等操作效率的提升更形重要，如此以確保儲架(shelf life)壽命的延長、保存期間的品質(retain quality)及降低碳足跡(reduce carbon footprints)。糧食加工可以延續食物的可食用期間及販售期限，因而增加季節間的糧食供應與產品價值，尤其在減產或低產時節更形重要意義。其次，糧食加工可提供工作機會，也可增加農產收入。

除了上述六項之外，有關資材投入與廢棄物管理亦不可或缺，節約能源與廢棄物管理係農場平時管理的重要工作，農民及農事操作者皆應當予以重視(FAO 2010)。在整個生產過程及消費鏈當中，特別需要強調減少採後處理與加工造成的損失，且全程降低廢棄物的產生。風險管理是另一要項，無論是第一線的農業從事人員或主管的農政官員都應該具備風險意識，從個別農場管理至國家農業生產規劃均當納入降低災害風險的計畫。因此，氣候智能型農業本身即當包含風險分析、脆弱度評估、災後復建及受災恢復能力等項目，並且連結各種調適、災害風險減降、災情恢復及糧食安全等對應措施在內。而在種的風險管理策略中，應該包括天氣與氣候資訊的發佈、氣象災害保險機制、社會救濟、社會安全網絡等制度，以及平穩災害造成農產品供需失調及糧價波動的政策考量。

氣候智能型農業方案的落實執行

CSA 經過近年來在世界各地的推動，累積出了整體景觀方法(landscape approaches)的執行經驗，來綜合農、林、畜牧業及水資源為一體的包裹做法，以吸引並強化公、私部門的參與，並以擴大 CSA 計畫

規模。然而，CSA 固然增進了農業生產力，強化了對氣候變遷衝擊的恢復能力，並減少了溫室氣體的排放量，在擬訂及落實執行 CSA 方案之前尚需要回答四個問題，主事者才能毅然推動 CSA 執行方案: (1)如何取得執行 CSA 方案的經費與支持？(2)如何衡量 CSA 的執行效益？(3)如何擴大 CSA 的執行規模？以及(4)如何發展 CSA 的行銷商機？

氣候智能型農業包容農業操作的傳統與創新內涵

其實 CSA 包容農業操作的傳統與創新內涵，前者如許多已經被長期實施而驗證可行的技術，如覆蓋、間作、保育耕犁、改良式水分管理等技術，以及輪作、農牧綜合管理、農林混植、改良式放牧等耕作制度；後者則為更準確的天氣預報，耐旱、耐淹與耐鹽等作物品種，以及災害風險與保險作法等(FAO 2008)。其重點在於依照區域差異及環境資源條件等改良，配合當地風俗民情、社經發展與政策來規劃適當的行動方案與措施。如此，才能發揮科技在 CSA 生產系統上的效益，增進農田生產力、增加農作收益及提升農業遭受氣候變遷衝擊之恢復力，也擴增農業緩解氣候變遷能力。

農業及糧食安全所依賴的天然資源保育，僅能在集約又聯合農業操作模式下得以永續發展，並避免過度資源使用及有效調適氣候變遷。CSA 策略亦需要集體式的合作，匯集相關國家地區一同參與，以利於較佳的國際合作，俾順利推動跨國及跨域的農業、林業與水源等必要的管理(FAO 2010, MARD 2012)。同時，應當努力促成公私部門間的夥伴關係，以獲得各方財務支援於擴大 CSA 運作規模。這樣的執行作法並不是一件簡單而容易的工作，極富挑戰性又需要同步進行，惟有相關利害者之間體認合則利、不合則害的唇齒相依局面，才能克服困難得到成功的機會。

氣候智能型農業的落實需要研究、教育與推廣服務

針對氣候智能型農業的發展目前已漸累積系統相當機制的瞭解，雖然亦仍有更多的未知有待研究探討，例如高耐溫、高耐旱與耐淹品種的選育工作即為其一。再者，區域性知識水準的差異存在於已開發與開發中國家，有待吾人努力縮短其間差距，讓諸如土壤碳封存、溫室氣體減排技術等經濟有效的方法能夠普及於開發中的弱勢國家與地區，使當地農民很容易的取得這些有用的資訊與技術(FAO 2010)。因此，相關研究的成果應當設法透過各種管道(如媒體、研討會、講習會、教育訓練課程等)予以普及化，以充分善用並發揮其最大經濟效益。各相關產業、從業人員、民間團體、政府部門及研究機構等應多方公開對話，交換意見、交流經驗及交互協助，讓發展智能型農業獲得的知識、技術與經驗推廣至全球各個角落，大方分享成功的果實。對我國而言，氣候智能型農業尚屬新興名詞，有待進一步宣導及探討適用於不同地區的系統，規劃系統內應當納入的技術、制度與作法等內容，以及搭配的政策、經費與資源的投入。對於世界各地成功的案例，國內當設法複製、驗證、改良再推廣至合適的地區，從而宣導其相關的知識、技術與實作模式。

結語

在氣候變遷情境下，致力於供給全球人口所需糧食乃當前吾人之一項重大挑戰，聯合國 FAO、世界銀行和許多政府、機構、專家學者相信，CSA 提供了一個達成農業、糧食安全與氣候變遷交疊下的三贏策略。雖然各方集思廣益擬訂的行動路線圖描繪出達成

此一藍圖目標及行動路徑，由於全球不同國家及地區各有其國情、社經情境及發展思維，因此無可諱言的仍存在相當歧異看法。其次，由於糧食安全、氣候變遷調適與氣候變遷緩三者目標之間存在利弊得失及正負效應的權衡交換，並不容易獲得實質上的三贏。縱然如此，CSA 樹立了解決糧食安全、氣候變遷及永續資源利用與生產利潤的輪廓和架構，也編織出可行的道路。對於資源有限、環境趨於惡化又災害頻繁的臺灣而言，假若農業生產依然是全民共同的選項，糧食安全維護是國家最高的發展政策，氣候變遷因應列為政府行動綱領，則在各方共識之下我國確實可以嘗試推動 CSA 生產系統。至於如何研擬出適合我國的 CSA 體系，並規劃出達成目標的特定行動路線圖，則端賴大家有志一同的努力、毅力與魄力！

(本文部分內容已發表於由中華農業氣象學會、行政院農業委員會臺中區農業改良場、行政院農業委員會農業試驗所、財團法人瑠公農業產銷基金會、中華幸福果協會及臺灣省青果運銷合作社臺中分社設於 102 年 10 月 23 日共同主辦之「氣候智慧(能)型農耕生產研討會」及其論文輯)。

引用文獻

Bellassen V, RJ Manlay, J-P Chéry, V Gitz, A Touré, M Bernoux, J-L Chotte (2010) Multicriteria spatialization of soil organic carbon sequestration potential from agricultural intensification in Senegal. Climatic Change 98: 213–243.

Bruinsma J (2009) The Resource Outlook to 2050. Expert Meeting on "How to Feed the World in 2050". Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Burney JA, SJ Davis, DB Lobell (2010) Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. Proceed. Natl. Acad. Sci. 107: 12052–12057.

Clements R, J Haggar, A Quezada, J Torres (2011) Technologies for climate change adaptation–agriculture sector. X Zhu (ed.) The United Nations Environment Programme (UNEP) Riso Centre, Roskilde, Denmark. Magnum Custom Publishing, New Delhi, India. 198pp.

Cline WR (2007) Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country. Center for Global Development, Peterson Institute for International Economics. Washington D.C. 250pp.

FAO (2009) Increasing Crop Production Sustainably: the Perspective of Biological Processes. November 2009. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 35pp. (Visit on 09/20/2013) http://www.fao.org/docrep/012/i1235e/i1235e00.pdf

FAO (2010) "Climate-Smart" Agriculture: Policies, Practices and Financing for Food Security, Adaptation and Mitigation. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 41pp. (Visit on 09/20/2013) http://www.fao.org/docrep/013/i1881e/i1881e00.pdf

Fischer G, M Shah, H van Velthuizen (2002) Climate Change and Agricultural Vulnerability. Technical report in Contribution to the World Summit on Sustainable Development, Johannesburg, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Laxenburg, Austria. 160pp.

IPCC (2007) Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. ML Parry, OF Canziani, JP Palutikof, PJ van der Linden, CE Hanson (eds). Climate Change 2007, Fourth Assessment Report. Intergovernmental panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. (visit on 09/10/2013) http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/contents.html

MARD (2012) Background Note. 2nd Global Conference on Agriculture, Food Security and Climate Change: Hunger for action. Sept. 3–7, 2012. Hanoi, Viet Nam. Ministry of Agriculture and Rural Development, Viet Nam. (Visit on 09/20/2013) http://www.afcconference.com/background-note

Oerke E-C (2006) Crop losses to pests. J. Agric. Sci. 144:31–43.

Reij C, G Tappan, M Smale (2009) Agroenvironmental transformation in the Sahel: Another kind of "Greeen Revolution." IFPRI Discussion Paper 00914. Nov. 2009. International Food Policy Research Institute (IFPRI). Washington, D.C. (Visit on 09/20/2013) http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/ifpridp00914.pdf

Stern N (2006) Stern Review on The Economics of Climate Change. HM Treasury, London, United Kingdom. 579pp.

The World Bank (2008) World Development Report 2008: Agriculture for Development. The World Bank, Washington, D.C. 365pp. (Visit on 09/20/2013) http://siteresources.worldbank.org/INTWDRS/Resources/477365-1327599046334/WDR_00_book.pdf

Tubby KV, JF Webber (2010) Pests and diseases threatening urban trees under a changing climate. Forestry 83:451–459.